

KARAKTERISTIK MORTAR DAN BETON GEOPOLIMER BERBAHAN DASAR LUMPUR SIDOARJO

Permana Putra Prasetio¹, Gary Kartadinata², Djwantoro Hardjito³, dan Antoni⁴

ABSTRAK : Penelitian ini membahas pengaruh ukuran partikel lumpur, molaritas *alkaline activator* NaOH, dan lama suhu *curing* pada mortar geopolimer berbahan dasar lumpur Sidoarjo. Variasi lama penggilingan yakni 2 jam, 4 jam, dan 8 jam dengan kehalusan lumpur harus di bawah 63 μ m. Analisa terhadap lumpur dilakukan dengan tes *X-Ray Fluorescence* (XRF) dan *Particle Size Analysis* (PSA). Variasi molaritas NaOH yaitu 8M, 10M, dan 12M, sedangkan variasi waktu *curing* yakni 6 jam, 12 jam, dan 24 jam dengan suhu 110°C. Pengujian kuat tekan mortar dilakukan pada benda uji berbentuk kubus ukuran 5x5x5 cm³ pada usia 7 hari, sedangkan pemeriksaan kelecakan dilakukan dengan menggunakan *flow table*. Pengujian kuat tekan beton dilakukan pada usia 7,14, dan 28 hari. Dari pengujian tersebut didapat bahwa komposisi mortar yang paling optimal adalah dengan ukuran kehalusan butiran <63 μ m, molaritas NaOH 8M, dan waktu *curing* 24 jam. Hasil campuran optimal mortar tersebut digunakan untuk *mix design* beton geopolimer untuk diteliti karakteristiknya yang meliputi kuat tekan, *shrinkage*, dan *setting time*. Pada beton geopolimer, kuat tekan meningkat seiring dengan pertambahan usia beton, sedangkan *shrinkage* tidak mengalami pertambahan setelah 16 hari pengujian.

KATA KUNCI : geopolimer, lumpur sidoarjo, beton, kuat tekan, *shrinkage*, *setting time*

1. PENDAHULUAN

Semburan lumpur Sidoarjo yang terus menerus keluar sejak tanggal 29 Mei 2006 belum menunjukkan tanda- tanda akan berhenti. Banyak upaya yang telah dilakukan untuk mengurangi volume lumpur yang keluar, salah satunya adalah membuang ke laut, namun hal ini menyebabkan permasalahan yang lain yaitu pencemaran lingkungan. Oleh karena itu diperlukan alternatif lain untuk pengurangan lumpur. Upaya tersebut antara lain dengan pemanfaatan lumpur sebagai genting. Penelitian tersebut menunjukkan hasil yang positif bahwa lumpur dapat digunakan sebagai bahan pengganti tanah liat (Wiryasa, Sudarsana, & Kusuma, 2007). Upaya serupa yang diteliti kali ini adalah pemanfaatan lumpur sebagai material dasar beton geopolimer.

Geopolimer merupakan senyawa *aluminosilicate* anorganik yang disintetis dari bahan-bahan yang banyak mengandung silika dan aluminium seperti tanah liat, *fly ash*, dll (Davidovits, 2008). Material yang kaya akan kandungan oksida silika dan aluminium merupakan bahan yang akan menjadi *binder* (pengikat) yang kuat melalui proses polimerisasi.

¹ Mahasiswa Universitas Kristen Petra Surabaya, permana_putra_prasetio@hotmail.com.

² Mahasiswa Universitas Kristen Petra Surabaya, garyktd@gmail.com

³ Dosen Universitas Kristen Petra Surabaya, djwantoro.h@peter.petra.ac.id

⁴ Dosen Universitas Kristen Petra Surabaya, antoni@petra.ac.id

Penelitian tentang pengaruh ukuran butir pada mortar Geopolimer telah dilakukan oleh Wahyudi & Fernando (2012). Pada penelitian ini dicari pengaruh ukuran butiran lumpur Sidoarjo terhadap kuat tekan beton geopolimer lumpur Sidoarjo. Namun pada penelitian ini ukuran butiran yang dipakai masih lebih besar dari 63 μm . Oleh karena itu pada penelitian kali ini peneliti akan membahas tentang perilaku tentang lumpur Sidoarjo bila dijadikan beton geopolimer, khususnya dengan ukuran butiran lumpur dibawah 63 μm .

2. MATERIAL

2.1 Lumpur Sidoarjo

Material utama yang digunakan pada penelitian ini mengandung komponen senyawa oksida yang didominasi oleh SiO_2 dan Al_2O_3 . Kandungan ini serupa dengan kandungan yang dimiliki oleh *fly-ash*, sehingga dapat disimpulkan bahwa lumpur Sidoarjo dapat digunakan sebagai bahan geopolimer. Tabel komposisi senyawa dapat dilihat pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Komposisi Senyawa Oksida pada Lumpur Sidoarjo Kering

Kandungan	% W	Kandungan	% W
SiO_2	56,75	K_2O	1,04
Al_2O_3	23,31	SO_3	0,96
Fe_2O_3	7,37	TiO_2	0,38
Na_2O	2,95	MnO_2	0,14
CaO	2,70	Cr_2O_3	0,01
K_2O	2,13	LOI	1,2

Lumpur Sidoarjo masih berbentuk ikatan kristal yang memiliki sifat tidak reaktif terhadap *activator*, sehingga perlu adanya proses pembakaran pada suhu tertentu agar merubah material dasar memiliki sifat amorf. Setelah dibuat menjadi amorf barulah material dasar dapat bereaksi dengan *activator*.

Lumpur ini awalnya dioven pada suhu 110°C selama 24 jam di dalam oven yang ada di Laboratorium Beton Universitas Kristen Petra. Kemudian lumpur dibakar dengan suhu 945°C secara bertahap di Pabrik Genteng dan Keramik. Waktu yang diperlukan untuk mencapai suhu 945°C kurang lebih selama 36 jam. Pembakaran pada lumpur menyebabkan perubahan warna lumpur dari abu-abu menjadi kemerahan seperti pada **Gambar 1**. Kemudian lumpur didinginkan selama 12 jam sebelum dikeluarkan dari tempat pembakaran. Setelah itu lumpur digiling dengan mesin giling sesuai dengan waktu yang telah ditentukan yaitu 2 jam, 4 jam, dan 8 jam namun dengan kehalusan <63 μm . Berikut hasil penggilingan lumpur dari hasil analisa PSA (*Particle Size Analysis*) dapat dilihat pada **Tabel 2**.

Tabel 2. Hasil Analisa PSA

Lama penggilingan	Specific Surface Area m^2/g	d(0,5) μm
2 jam	1,3	15,180
4 jam	2,34	7,991
8 jam	2,58	6,632



(a) Sebelum pembakaran; (b) Setelah pembakaran

Gambar 1. Perbedaan Warna Lumpur

2.2 Alkaline activator dan Katalisator

Na_2SiO_3 dan NaOH *flake* yang digunakan pada penelitian ini didapat dari Toko Kimia BrataChem Surabaya. NaOH *flake* yang digunakan mengandung kemurnian padatan 99%. Komposisi dari Na_2SiO_3 dapat dilihat pada **Tabel 3** berikut.

Tabel 3. Komposisi Na_2SiO_3

Analisa	Hasil
Na_2O	17,14%
SiO_2	36,71%
Ratio ($\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$)	2,14

2.3 Pasir dan Kerikil

Material pasir yang digunakan ini adalah pasir Lumajang. Pasir ini didapat dari pembelian di toko bangunan yang terletak di kota Surabaya. Pada pasir dilakukan pengujian terhadap kadar air (w/c), berat volume, berat jenis (GS) dan analisa ayakan pasir. Kadar air (w/c) pasir sebesar 4,18%, GS pasir sebesar 2,78, untuk berat volume pasir sebesar 1,49, dan untuk Fineness Modulus pasir sebesar 2,40. Sedangkan material kerikil didapat dari toko bangunan yang ada di Surabaya. Pada kerikil dilakukan pengujian terhadap berat volume dan analisa ayakan kerikil. Berat volume kerikil sebesar 1,3, dan untuk Fineness Modulus kerikil sebesar 7,67.

3. RANCANGAN PENELITIAN

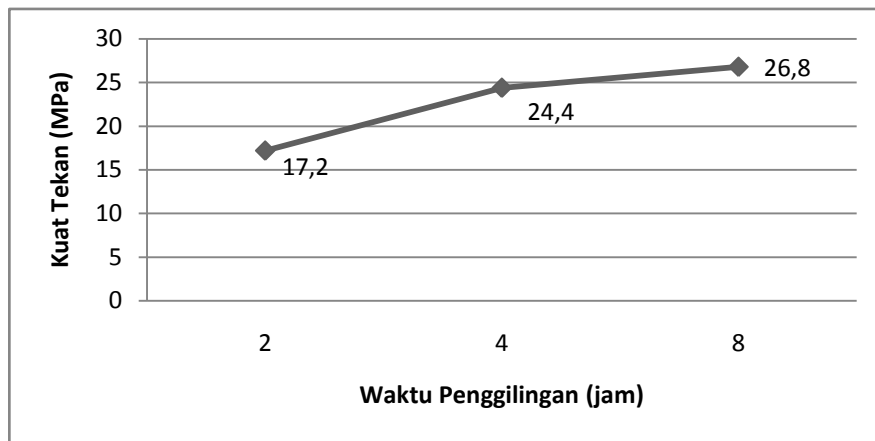
Penelitian ini menggunakan mortar sebagai acuan pembuatan beton selanjutnya dengan mencari komposisi yang optimal dari mortar. Pada tahap pertama, ukuran butiran dijadikan sebagai variabel bebas sedangkan rasio w/b (*water/binder*, yang dimaksud dengan *binder* dalam hal ini adalah lumpur, sedangkan *water* adalah jumlah air yang digunakan dalam pembuatan larutan aktivator serta air yang terkandung dalam sodium silikat), waktu *curing* 24 jam dengan suhu 110°C , dan molaritas NaOH 10M dijadikan variabel terikat. Pada tahap kedua untuk mortar, molaritas NaOH dijadikan sebagai variabel bebas sedangkan rasio w/b, waktu *curing* 24 jam dengan suhu 110°C , dan waktu penggilingan 8 jam dijadikan variabel terikat. Pada tahap ketiga untuk mortar, waktu *curing* dengan suhu 110°C dijadikan variabel bebas sedangkan rasio w/b, waktu penggilingan 8 jam, dan molaritas NaOH 10M dijadikan variabel terikat.

Sampel mortar diuji pada usia 7 hari. Komposisi yang memberikan hasil terbaik digunakan sebagai acuan *mix design* pada pembuatan beton geopolimer yang dicetak dalam silinder ukuran 10x20 cm. Karakteristik beton geopolimer yang diuji adalah kuat tekan, *shrinkage*, dan *setting time*. Pengujian tekan dilakukan pada saat benda uji berumur 7 hari, 14 hari dan 28 hari. Sedangkan pada *shrinkage*, dibuat 3 benda uji yang diamati setiap hari kemudian dirata-rata hasilnya. Sesuai dengan ASTM C596 – 01, *shrinkage* diamati sampai usia 25 hari. Pengujian selanjutnya yaitu *setting time* dilakukan dengan cara menguji ketahanan penetrasi dari mortar setiap 20 menit yang di *curing* di dalam oven dengan suhu 110°C .

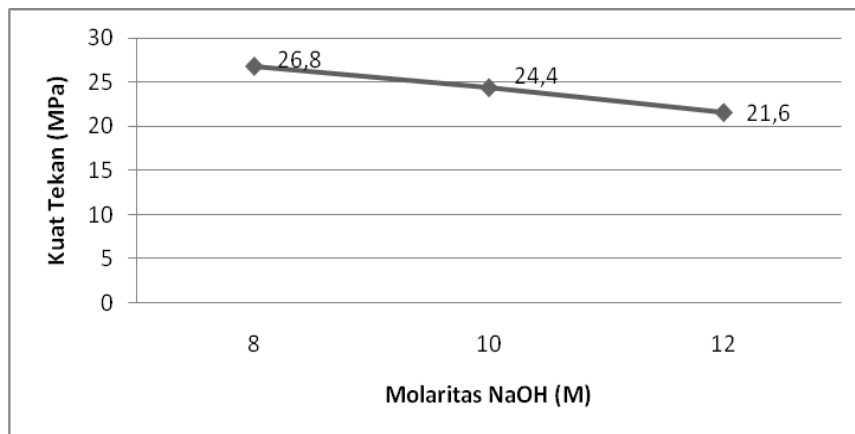
4. HASIL DAN ANALISA

4.1 Mortar Geopolimer

Pada **Gambar 2.**, dapat dilihat bahwa ukuran butiran lumpur yang lebih kecil menghasilkan kuat tekan mortar lebih kuat. Namun sebaliknya dalam molaritas NaOH, molaritas yang lebih kecil menghasilkan kuat tekan yang lebih besar. Menurut percobaan yang telah dilakukan sebelumnya oleh Bondar *et al* (2011) bahwa semakin tinggi molaritas larutan hidroksida, maka mortar memerlukan waktu dan suhu curing yang lebih tinggi agar dapat terjadi reaksi geopolimer. Sehingga berkurangnya suhu akan memberikan kuat tekan yang lebih rendah. Hasil dapat dilihat pada **Gambar 3.**

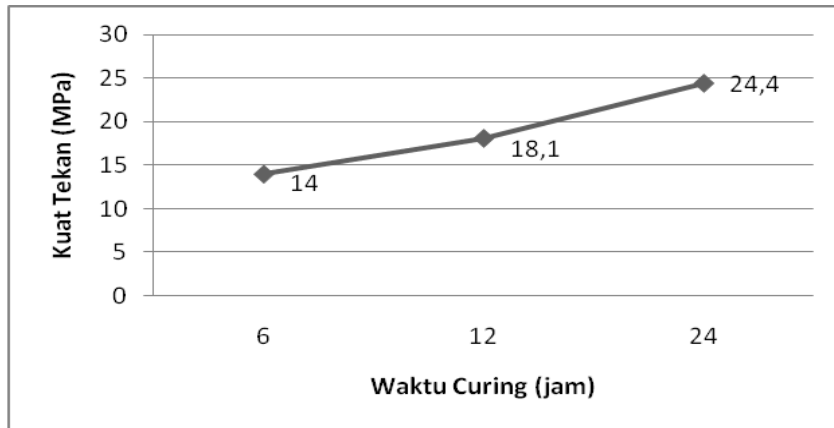


Gambar 2. Pengaruh Waktu Penggilingan terhadap Kuat Tekan Mortar Geopolimer



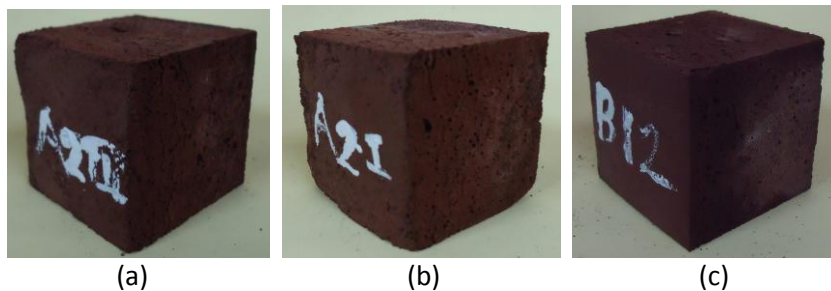
Gambar 3. Pengaruh Molaritas NaOH terhadap Kuat Tekan Mortar Geopolimer

Pada **Gambar 4.**, dapat dilihat bahwa waktu curing memberikan pengaruh yang signifikan pada kuat tekan mortar geopolimer. Hal ini diduga bahwa waktu curing yang lebih lama melepaskan molekul air yang lebih banyak pada mortar geopolimer. Curing yang lebih lama juga akan mempercepat reaksi polimerisasi dan setting dari mortar tersebut (Ravikumar, Peethamparan, & Neithalath, 2010).



Gambar 4. Pengaruh Waktu Curing terhadap Kuat Tekan Mortar Geopolimer

Campuran optimal pada mortar yang didapat adalah lama penggilingan 8 jam, Molaritas NaOH 8M, dan dengan lama waktu curing 24 jam. Diduga bahwa semakin lama penggilingan lumpur maka akan memberikan kehalusan dan kelecakan yang lebih baik pada mortar geopolimer. Hal ini berdampak pada kemudahan pemadatan pada saat mencetak dan juga kehalusan permukaan pada sampel seperti yang dapat dilihat pada **Gambar 5**.

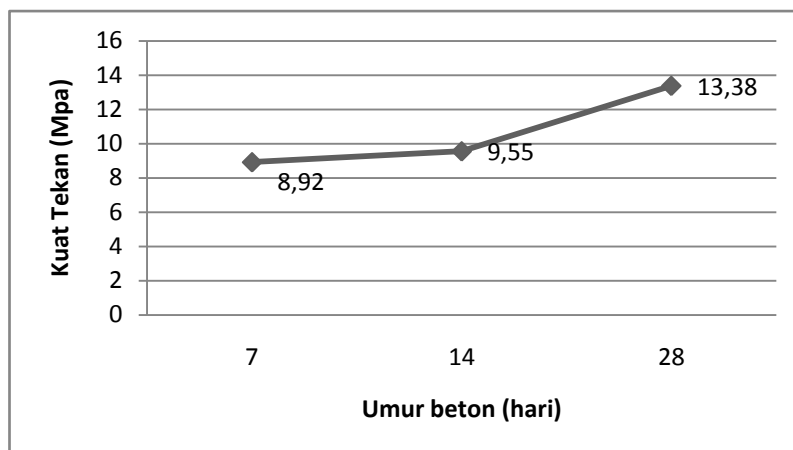


(a) 2 jam; (b) 4 jam; (c) 8 jam

Gambar 5. Benda Uji Waktu Pengaruh Waktu Penggilingan pada Mortar

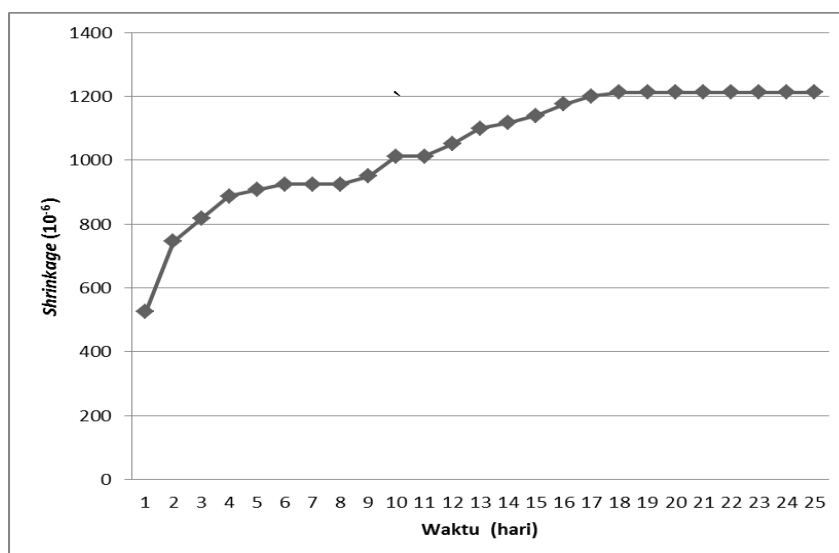
4.2 Beton Geopolimer

Mix design beton diambil pada komposisi campuran yang optimal pada mortar yang dipilih dari variabel-variabel bebas pada mortar yang diteliti sebelumnya. Variabel terikat yang diambil adalah molaritas NaOH 8M, lama penggilingan 8 jam, dan lama *curing* 24 jam dengan suhu 110°C. Untuk perbandingan massa pasir dan lumpur adalah 1:2, sedangkan perbandingan antara massa pasir dan agregat adalah 45:55. Komposisi dari 1 sampel beton geopolimer terdiri dari massa agregat 1716 gr, massa pasir 1404 gr, massa lumpur 702 gr, massa padatan NaOH 28,6 gr, massa larutan Na_2SiO_3 250,6 gr, dan massa air 89,6 gr. Benda uji beton dibuat dalam bentuk silinder ukuran 10x20 cm dengan umur 7 hari, 14 hari, dan 28 hari. Hasil kuat tekan beton geopolimer dapat dilihat pada **Gambar 6**.



Gambar 6. Kuat Tekan Beton Geopolimer

dilihat bahwa kuat tekan pada umur beton 28 hari mempunyai hasil yang terbesar yaitu 13,38 MPa. Semakin besar umur beton, maka campuran beton yang telah dicetak akan semakin matang. Hal inilah yang menyebabkan kuat tekan beton geopolimer semakin besar sesuai dengan pertambahan umur. Sedangkan karakteristik beton pada *shrinkage* menunjukkan hasil seperti pada **Gambar 7**.



Gambar 7. Shrinkage Beton Geopolimer

Pada **Gambar 7**, dapat dilihat bahwa beton mengalami shrinkage yang lebih besar seiring berjalannya waktu. Pada pengukuran hari ke-16 shrinkage mencapai nilai maximum yaitu sebesar $1212,5 \times 10^{-6}$. Pada hari pengukuran ke-17 sampai ke-25, beton tidak mengalami perubahan *shrinkage*.

Berdasarkan ASTM C 430 – 04, initial setting dicapai pada saat ketahanan penetrasi mencapai 3,5 MPa, sedangkan untuk final setting dicapai pada saat ketahanan penetrasi mencapai 27,6 MPa. Pada mortar geopolimer berbahan dasar lumpur Sidoarjo ini, pengujian setting time dilakukan dalam suhu 110°C . Initial setting dicapai pada 90 menit atau 1 jam 30 menit dan untuk final setting dicapai selama sekitar 250 menit atau 4 jam 10 menit.

5. KESIMPULAN

Pada percobaan yang telah dilakukan dapat diambil beberapa kesimpulan seperti berikut :

1. Semakin kecil ukuran butiran maka kuat tekan beton maupun mortar geopolimer semakin tinggi.
2. Molaritas larutan NaOH antara 8-12M, yang menghasilkan kuat tekan paling tinggi adalah 8M.
3. Waktu *curing* yang lebih lama meningkatkan kuat tekan beton maupun mortar.

6. DAFTAR REFERENSI

- Davidovits, J. (2008). *Geopolymer Chemistry and Application*. Geopolymer Institute, Saint Quentin
- Bondar, D., Lynsdale, C. J., Milestone, N. B., Hassani, N., & Ramezaniapour, A. A. (2011). " Effect of Type , Form , and Dosage of Activators on Strength of Alkali-Activated Natural Pozzolans." *Cement and Concrete Composites*, 33(2), 251-260. Elsevier Ltd.
- Ravikumar, D., Peethamparan, S., & Neithalath, N. (2010). "Structure and Strength of NaOH Activated Concretes Containing Fly Ash or GGBFS as the Sole Binder". *Cement and Concrete Composites*, 32(6), 399-410. Elsevier Ltd.
- Wahyudi, H., & Fernando, F. (2012). *Pengaruh Ukuran Butiran pada Reaktifitas Lumpur Porong untuk Aplikasi Geopolimer*. Skripsi Universitas Kristen Petra.
- Wiryasa, N. M. A., Sudarsana, I. W., & Kusuma W., A. A. G. K. (2007). Pemanfaatan lumpur Lapindo sebagai Bahan Pengganti Tanah Liat pada Produksi Genteng Keramik. *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil*, 11(2), 132-141.